视觉注意捕获的快速脱离假说与信号抑制假说*

张帆 [1] 陈艾睿 [2] 董波 [2] 王爱君 [1] 张明 [1]

([1] 苏州大学心理学系，心理与行为科学研究中心，苏州, 215123)

([2] 苏州科技大学心理学系，苏州, 215009)

摘要 快速脱离假说和信号抑制假说都是将传统的自下而上捕获和自上而下控制结合起来的混合模式假说。快速脱离假说认为突显干扰物总能在第一时间捕获注意，当突显干扰物与任务要求不符时，注意会迅速脱离该位置。信号抑制假说认为突显干扰物都会产生"注意我"的信号，当突显干扰物与任务要求不符时，该信号会被自上而下的抑制以阻止注意捕获发生。前者相关的研究多采用空间线索提示范式和眼动脱离范式，实验中被试采取独子探测策略，而后者相关的研究多采用额外单例范式的变式，实验中被试采取特征探测策略。未来研究应采用不同的刺激类型和实验方法进一步为两个假说提供证据支持，同时要关注奖赏、训练等因素对"捕获-脱离"和"信号-抑制"的影响。

关键词 视觉注意捕获；快速脱离假说；信号抑制假说

分类号 B842

1 引言

每时每刻都有无数信息输入视觉系统，但只有很少一部分可以得到进一步加工。注意可能会被主动地分配给任务相关的位置或客体，从中选择一些信息进行加工(Folk et al., 1992)，也可能会自动地、无意识地被突显刺激吸引(Yantis, 1993)，后者被称为"注意捕获"(attentional capture)。冬天在人群中搜寻穿黑色衣服的朋友时，你的注意可能会不由自主地被一个穿着荧光绿衣服的女孩吸引，这是生活中注意捕获的典型例子。在实验室环境中，注意捕获的场景也很容易建立，但注意捕获的机制却始终是注意研究领域尚未探究清楚的焦点问题之一。换句话说，某些任务无关的突显刺激为什么能自动捕获注意，以及如何避免任务无关刺激捕获注意从而提高搜索效率尚且没有定论(Roque et al., 2016)。

近二十年来，注意捕获的相关理论在学者们的研究中不断完善。关于注意捕获的机制有两个传统理论：

收稿日期：2020-04-06

* 国家自然科学基金项目资助(31871092 和 31700939)和教育部人文社会科学研究项目(20YJC190002)资助。

陈艾睿和张帆同为第一作者。

通讯作者：张　明, E-mail: psyzm@suda.edu.cn

王爱君, E-mail: ajwang@suda.edu.cn

(1)注意捕获是自下而上、“刺激-驱动”的(stimulus-driven)(Theeuwes, 2004; Theeuwes et al., 2003)；(2)注意捕获是自上而下、“目标-驱动”的(goal-driven)(Folk et al., 1992; Folk & Remington, 1998; Folk et al., 1994)。储衡清和周晓林(2004)对这两种理论以及相关研究中涉及的问题已经进行了综述。概括地说，前一种观点认为，刺激突显到一定程度时可以自动地捕获注意，这一过程不受当前任务目标的影响和控制(Hickey et al., 2009; Hickey et al., 2010; Theeuwes, 1992, 2004, 2010; Theeuwes et al., 2003; Yantis, 1993; Yantis & Hillstrom, 1994)，当前任务目标影响的是有策略的注意分配和再分配。后一种观点认为，突显刺激是否可以捕获注意和当前任务目标关系密切，强调自上而下控制的作用，也有研究者用关联性注意捕获(contingent attentional capture，或称为有条件的注意捕获)理论来解释，即注意捕获是有条件的(Chen & Mordkoff, 2007; Folk et al., 1992; Folk et al., 2002; Folk & Remington, 2006; Livingstone et al., 2017)，注意系统可以被灵活地设置为只对携带任务相关特性的刺激反应，突显干扰物能在多大程度上捕获注意取决于它和任务相关注意定势(attentional setting)的相符程度(Folk et al., 1992; Folk & Remington, 1998)。这两种传统的观点二十年来争论不断，彼此都有大量的证据支持。

近十年，研究者们提出了两种将传统理论结合起来的混合模型，对注意捕获的机制做出了进一步诠释，即快速脱离假说(rapid disengagement hypothesis 或 speed-of-disengagement hypothesis)和信号抑制假说(signal suppression hypothesis)(Gaspelin & Luck, 2018a, 2018c, 2018d; Sawaki & Luck, 2010; Theeuwes, 2010; Folk & Remington, 2010)。本文主要关注快速脱离假说和信号抑制假说这两个混合模型近些年的研究，从假说的提出、研究证据、两种假说的对比等方面进行梳理，目的是为研究者们探究注意捕获的机制问题提供更全面的理论视角，并对未来注意捕获的相关研究进行展望。

2 快速脱离假说

2.1 快速脱离假说的提出及核心内容

快速脱离假说的核心内容是无论突显干扰物是否符合任务要求都能在第一时间捕获注意，但是注意只在符合任务要求的突显干扰物的位置停留，如果突显干扰物与任务要求不符，注意会迅速脱离该位置。这一假说的提出源自于研究者对刺激-驱动理论的弥补。在传统理论争论的过程中，以 Folk 为主的一些研究者使用空间线索提示范式(spatial-cuing paradigm or precuing paradigm)的变式开展了一系列研究反对刺激-驱动理论(Anderson & Folk, 2010, 2012; Folk et al., 1992; Folk et al., 2002; Folk & Remington, 1998, 2006)，该范式中线索在靶子之前 150 ms 左右呈现，结果发现不包含靶子特征的线索并没有产生线索提示效应($RT_{\text{非线索化-线索化}}$)，这一结果不符合刺激-驱动理论的观点，但从目标-驱动理论的角度看是合理的，注意只被分配到与自上而下的注意定势相匹配的刺激上，不包含靶子特征的线索并没有捕获注意，因而没有标识注意捕获的线索提示

效应出现。然而，Theeuwes(2010)并不认同这种说法，他们从刺激-驱动理论的观点出发提出了快速脱离假说，认为注意最初总是会分配给最突显的刺激，在线索呈现时，其作为所呈现刺激中最突显的刺激理应捕获注意，而自上而下的注意定势影响的是注意从线索化位置脱离的速度，他们猜想当线索与任务目标不符时注意会快速脱离线索所在位置，并不会对线索化位置呈现的靶子产生易化作用。因此，快速脱离假说本质上是为了给刺激-驱动理论提供支持，是对刺激-驱动理论的补充。

2.2 快速脱离假说的证据

Theeuwes 等人(2010)提出快速脱离假说之后，广大研究者围绕这一假说展开了大量研究(Blakely et al., 2012; Brockmole & Boot, 2009; Schoeberl et al., 2018; Wang et al., 2019; Wright, Boot, & Jones, 2015; Geng & DiQuattor, 2010)。支持快速脱离假说的证据中以空间线索提示范式的变式(Belopolsky et al., 2010; Theeuwes, 2010)和眼动脱离范式(oculomotor disengagement paradigm)(Brockmole & Boot, 2009; Wright, Boot, & Brockmole, 2015; Wright, Boot, & Jones, 2015)为主，也有少量研究采用额外单例范式及其变式(additional singleton paradigm) (Wang et al., 2019)。

采用空间线索提示范式的实验中，标识“捕获-脱离”的是线索提示效应，即有线索提示效应标志着线索作为突显刺激捕获了注意，而线索提示效应消失标志着“捕获”发生之前，注意已经从与任务不符的线索化位置“脱离”了。Anderson 和 Folk(2010)使用空间线索提示范式发现，线索-靶子相似程度决定了线索捕获注意的程度，即和靶子越相似的线索获得越多的注意资源，进而产生越大的线索提示效应。然而，Theeuwes(2010)发现，和靶子越相似的线索产生越大的线索提示效应这一结果主要的贡献来自于非线索化条件，因此也可以理解为上述结果主要取决于非线索化条件下注意脱离的速度，当线索和靶子一样时，注意从线索位置脱离的最慢从而产生最大的线索提示效应，反之，线索与靶子完全不同时，注意可以快速从线索位置脱离，此时线索提示效应最小。Belopolsky 等(2010)同样使用了类似 Folk 等(1992)的空间线索提示范式，为快速脱离假说提供了直接的证据。该研究实验 3 中，他们将空间线索提示范式和 go/no-go 任务结合发现，当线索包含一个 no-go 靶子的特性时(例如：提示靶子类型为 onset 刺激，而线索为颜色刺激)，结果发现被试对呈现在线索化位置的靶子反应显著变慢，即出现反转的线索提示效应，他们把这一现象解释为注意被不符合靶子特性的颜色线索捕获之后快速的从该位置脱离，而严格的自上而下的控制甚至会使线索化位置受到抑制(Belopolsky et al., 2010)，Anderson 和 Folk(2012)的实验 1 和实验 2 也得到了同样的结果。

使用额外单例范式及其变式为快速脱离假说提供证据的研究通常结合眼动追踪技术，以扫视潜伏期和独子干扰效应($RT_{呈现独子-无独子}$)为指标。van Zoest, Donk 和 Theeuwes(2004)的研究发现，潜伏期较短的扫视往往指向突显刺激，而发生较慢的眼动则较多的指向靶子，研究者认为这一结果也支持了快速脱离假说，即第一时间发生的扫视指向的是最突显的干扰物刺激。具体的说可以理解为：(1)在外显的眼动转移发生之前，内

隐注意已经脱离显著的非靶子刺激，导致独子呈现时较大的反应时损耗，同时并没有外显的眼动捕获效应；(2)内隐注意可能最初被显著的刺激捕获，在内隐注意脱离干扰物之前会发生相对较快的眼动，这就会导致扫视速度快的试次中眼动捕获效应较大，扫视速度慢的试次中眼动捕获效应较小。Wang 等人(2019)使用额外单例范式，实验中操控独子干扰物呈现位置的概率，结果发现当独子呈现在高概率独子呈现位置时，独子捕获注意产生的干扰效应减小。这一效应可以被解释为被试学会了从这一高概率独子呈现位置快速脱离，这与 Brockmole 和 Boot(2009)提出的被试可以更快速地从预期干扰物会呈现的位置脱离相一致，也为快速脱离假说提供了支持。

空间线索提示范式和额外单例范式都属于捕获范式，捕获范式很难区分干扰物将注意吸引到某一位置带来的反应时损耗和将注意保持在该位置带来的反应时损耗(Blakely et al.，2012)，而眼动脱离范式以扫视潜伏期为指标则可以更加直观的观察到脱离过程是否被延迟。大量研究者使用眼动脱离范式来研究注意脱离的影响因素，为快速脱离假说中重要的“脱离”过程提供证据(Boot & Brockmole, 2010; Wright, Boot, & Brockmole, 2015)，结果发现中央注视点位置呈现的刺激特征与靶子特征相符时，被试从该位置脱离的时间就会被延迟，即扫视潜伏期延长。此外，还有研究使用眼动捕获任务的变式(oculomotor capture task)发现，外周视野中捕获注意的干扰物和靶子特征越相符，注意在该位置停留的时间就越久，且眼动捕获过程主要是自下而上刺激突显性驱动的，而眼睛从干扰物位置脱离的过程则是自上而下靶子-干扰物相似性驱动的(Born et al., 2011)。

2.3 关于快速脱离假说的争论

尽管研究者一直没有放弃为该假说寻找支撑证据，但是迄今为止，支持快速脱离假说的证据尚且不足，关于快速脱离假说仍然存在争论。而产生争论的主要原因有两个：1)时程上没有完整的捕获-脱离的证据链；2)缺少来自电生理方面的证据。前者，有研究者认为快速脱离假说对线索提示效应发生与否的解释依赖于线索和靶子之间的时间间隔(Chen & Mordkoff, 2007)。前人研究中线索-靶子之间的时间间隔多为 150 ms，快速脱离假说认为当线索与靶子特性不一致时，注意有足够的时间从线索化位置脱离而使线索提示效应消失。因此研究者推测，如果快速脱离假说是正确的，那么缩短线索靶子间隔至一个不足以使注意脱离线索化位置的值时，线索提示效应就会出现，而反之，则和之前研究结果一致，依然观察不到线索提示效应。Chen 和 Mordkoff (2007)的研究中，他们将线索-靶子之间的时间间隔缩短至 35 ms，结果发现在线索和靶子类型不一致条件下，onset 线索并没有产生线索提示效应产生，研究者认为这一结果是对快速脱离假说的批判。除此之外，Anderson 和 Folk(2012)通过操控线索和靶子的特征同样发现了抑制过程和注意转移之间的分离，他们认为 Belopolsky 等(2010)发现的负的线索提示效应可能反映的是一种自上而下的基于特征的抑制，而与注意

是否被线索捕获以及是否从线索位置脱离无关，Anderson 等人将这种情况称为与捕获无关的抑制理论(capture-independent inhibition account)。后者，快速脱离假说之所以始终被一些研究者质疑很大一部分原因是由于缺少来着电生理方面的实证证据。快速脱离假说是建立在“刺激-驱动”传统理论的前提之下的，而“刺激-驱动”理论有许多来自额外单例范式和电生理方面的证据，快速脱离假说在这两方面尚且不足，眼动追踪技术可以通过扫视潜伏期和扫视方向等指标为指向突显刺激外显注意转移和脱离延迟提供支持，内隐注意转移和脱离则需要更多电生理方面的证据。注意捕获不仅包含外显注意捕获还包括内隐注意捕获，因此电生理方面的证据支持必不可少。

综上所述，可以发现快速脱离假说认为空间线索提示范式中脱离发生在靶子呈现之前，脱离的速度依赖于线索和靶子的相似性及两者之间的时间间隔。快速脱离假说中 “捕获-脱离”的思想将自下而上捕获和自上而下控制结合起来，在解释空间线索提示范式中线索提示效应消失的情况时有一定的合理性。

3 信号抑制假说

3.1 信号抑制假说的核心内容

为了缓解自下而上和自上而下两个理论之间的争论，Sawaki 和 Luck (2010)提出了另一种将自下而上捕获和自上而下控制结合起来的混合模型，被称为“信号抑制假说”。该假说的核心内容是，无论突显干扰物是否符合任务要求都会产生一种“注意我”(attend-to-me)的信号，而注意捕获之所以没有发生是因为在注意真正被捕获之前，突显刺激诱发的“注意我”的信号就被自上而下的注意控制抑制了。这个假说的前半部分与刺激-驱动理论相似，都认为突显刺激无论是否与任务要求相符都会产生试图捕获注意的“信号”，重要的是该假说认为如果突显刺激与任务要求不符，这一信号随后会迅速受到自上而下地抑制，致使注意并没有真正被突显的干扰物捕获，这一点与自上而下的目标-驱动理论一致。它与刺激-驱动理论和目标-驱动理论都有相似的地方，但同时又与两者有不一致的地方。与刺激-驱动理论不同的是，该理论认为，突显刺激只是会产生“注意我”的信号，并没有真正的注意转移发生，而与目标-驱动理论不同的是，如果突显刺激诱发的信号没有被抑制的话注意会被自动地捕获。

3.2 信号抑制假说的证据

信号抑制假说被提出之后，研究者们围绕这一假说展开了大量研究(Failing & Theeuwes, 2019; Failing et al., 2019; Gao & Theeuwes, 2019; Gaspelin & Luck, 2018a, 2018c, 2018d; Gong et al., 2017; Hu et al., 2019; Sun et al., 2018; Wang & Theeuwes, 2018; Lee & Geng, 2017; Marini et al., 2016; Cosman et al., 2015; Lega et al., 2019; Tran, 2020)。支持该假说的研究大多采用额外单例范式的变式(Gaspelin et al., 2017)或者将这一范式与捕获-

探针任务相结合(capture-probe paradigm)(Gaspelin et al., 2015; Gaspelin & Luck, 2018a)，也有采用遵循注意捕获研究设计规则的自创范式(Sawaki & Luck, 2010)。快速脱离假说实证研究中使用方法比较单一，而信号抑制假说的证据则非常全面，除了有许多行为实验为其提供证据(Gaspelin et al., 2015; Moher & Egeth, 2012; Moher et al., 2014; Sawaki & Luck, 2010; Vatterott & Vecera, 2012)，也有许多研究者采用电生理(Eimer & Kiss, 2008; Gaspar & McDonald, 2014; Gaspelin & Luck, 2018a; Jannati et al., 2013; Sawaki & Luck, 2010, 2011; Sun et al., 2018)和眼动追踪(Gaspelin et al., 2017; Gaspelin et al., 2019)的方法为该假说提供了汇聚性的支持。

在行为研究中，Gaspelin 等 (2015) 使用的额外单例范式的变式结合捕获-探针任务非常有代表性，结果发现，当任务无关靶子被设置为不同形状的刺激时，从形状维度定义的靶子就不再是独子，这就迫使被试采取特征探测策略，这种情况下在视觉搜索任务中不仅没有标识注意捕获的反应时损耗发生(即呈现独子条件下被试反应较慢)，反而会产生呈现任务无关突显独子带来的反应时收益，且相较于其他任务无关干扰物，被试较少地报告突显干扰物独子位置的探针字母，这一结果表明独子加工被抑制在基线水平之下了。行为研究中，呈现突显独子干扰物带来的反应时收益和较少的报告突显独子干扰物所在位置的探针字母是表明独子位置受到抑制的两个重要指标。电生理研究中，信号抑制假说最初的证据支持就来自于突显刺激诱发的标识抑制的 P_D (positivity contralateral to the distractor)成分，且没有行为上的捕获发生(Burra & Kerzel, 2014; Eimer & Kiss, 2008; Gaspar et al., 2016; Gaspar & McDonald, 2014; Jannati et al., 2013; Sawaki & Luck, 2010, 2011)。Jannati 等(2013)采用额外单例范式的变式发现，即使在反应很慢的试次中，突显干扰物也没有诱发标识注意转移的 N2pc(N2 posterior contralateral)成分，然而在反应较快的试次中，突显干扰物则诱发产生了 P_D 成分，表明在较快反应的试次中被试抑制了突显干扰物的加工，或者说由于被试有效地抑制了突显干扰物的加工，被试得以快速做出反应。

行为研究和电生理的研究表明的是被试可以抑制注意内隐地转向突显但任务无关的干扰物，眼动追踪技术则可以证明被试同样可以抑制注意外显地转向无关的独子。Ipata 等人(2006)在猕猴里发现了独子抑制效应。他们发现训练良好的猴子首次扫视朝向独子干扰物的比例少于朝向其它非独子干扰物的平均值，但是这一眼动抑制效应是否普遍的存在于执行实验室任务的人类中尚不明确。Gaspelin 等(2017)的一系列眼动实验表明人类同样会主动抑制朝向突显但与任务无关刺激的眼动，为信号抑制假说提供了来自眼动的证据，准确的说是为信号抑制假说的抑制过程提供了直接证据。Gaspelin 等(2017)的实验中将额外单例范式的变式和眼动追踪方法相结合，并预计被试采取独子探测策略时，首次扫视更倾向于直接朝向独子干扰物，而不是非独子干扰物，即产生眼动捕获效应。相反，如果被试采取特定特征搜索策略，则这一效应出现反转，即出现眼动抑制效应，被试更少地朝向独子干扰物。他们在实验 1 中被试采取独子探测策略，结果表明，首次扫视更倾向于朝向独子干扰物，而不是其它非独子干扰物，即还是发生了自下而上的注意捕获。实验 2 中被试

被迫采取特定特征探测策略，结果发现，与其他非独子干扰物相比，首次扫视更少地朝向突显独子干扰物，即产生眼动独子抑制效应。这些研究从外显注意转移受到抑制的角度为信号抑制假说提供了证据。

3.3 关于信号抑制假说的争论

信号抑制假说中除了“抑制”，还有一个重要的组成部分就是“信号”，关于信号抑制假说的争论就主要集中在如何证明“信号”的存在。信号抑制假说认为，注意抑制发生之前干扰物会产生一个“注意我”的信号(Sawaki et al., 2012; Sawaki & Luck, 2010)，虽然有大量研究表明抑制过程的存在，但是对于这个“注意我”的信号却并未在行为研究或眼动追踪研究中发现。只有在电生理的研究中有人认为这一过程可以用 100 ms-200 ms 之间的正成分 Ppc(Positivity posterior contralateral)标识(Barras & Kerzel, 2016; Fortier-Gauthier et al., 2013; Jannati et al., 2013)，但也有研究者将其阐释为 P_D 的早期成分。因此，Ppc 的功能意义并没有 N2pc 和 P_D 那么明确且一致，Jannati 等人(2013)的实验中发现突显的颜色独子总能诱发 Ppc，无论它是干扰物或者靶子，他们认为，Ppc 可能反映了感知觉加工中的不对称性或者是刺激突显性或者是不影响靶子判断的转瞬即逝的突显性驱动空间选择。也有可能，Ppc 并不是完全刺激驱动的信号，而是与搜索难度有关，当搜索无效或干扰物和靶子易混淆时，Ppc 就消失了。也就是说，关于信号抑制假说中的“注意我”的信号，并没有一个稳定可靠的成分来标识，确切的说更像是一个假想的概念。若要完全表明在刺激呈现的最初时刻，突显的独子干扰物真的会产生这一信号，未来需要更多使用脑成像等更有效的方法来开展更多的研究。

综上所述，支持信号抑制假说的研究几乎都是采用额外单例范式的变式，遵循两个原则：1)靶子不是某个特征维度的独子，迫使被试采取特征探测策略；2)对于每个被试来说靶子特征在整个实验或一个区组中不变，也就是说被试清楚的知道下一个试次中靶子是什么。虽然支持信号抑制假说的结果都受到上述两方面的限制，但是其将自下而上捕获和自上而下抑制结合起来，在解释标识注意捕获受到抑制的反应时收益和眼动抑制效应时有合理性。

4 快速脱离假说和信号抑制假说的区别和联系

总的来说，快速脱离假说和信号抑制假说都是在探讨注意捕获机制问题的过程中不断发展出的假说，都是建立在传统的自下而上和自上而下争论之上的混合模型，两者既有区别又有联系。相同之处在于，两者都认为注意捕获过程最初是自下而上自动发生的，之后才是自上而下的注意控制。两者的区别有两点：1)前者认为自下而上的捕获中存在内隐或者外显的注意转移，而后者则认为没有注意转移的存在；具体的说，快速脱离假设认为独子和搜索序列同时呈现时，注意转向颜色独子需要花费一些时间(Theeuwes, 2010)，会产生

可观察到的反应时损耗(Chen & Mordkoff, 2007; Theeuwes et al., 2003)，线索先于靶子呈现时，注意会转向屏幕上最突显的刺激-线索，而信号抑制假说认为独子和搜索序列同时呈现时，无关干扰物受到抑制，并没有最初的注意转移，因此不会有反应时的损耗；2)前者认为注意捕获没有真实发生是由于注意有足够的时间脱离与任务目标不符的线索，而后者认为注意捕获没有真实发生是由于突显的干扰物独子受到了抑制。具体的说，信号抑制假说认为突显独子干扰物会被抑制，导致首次扫视朝向突显独子的可能性降低(即眼动抑制效应)。快速脱离假说同样可能解释首次扫视朝向独子干扰物的可能性降低，该假说认为内隐注意被突显刺激捕获，不过可以快速地脱离这个位置，消除了眼动捕获效应。造成这两方面区别的原因有实验范式、搜索策略等。

4.1 实验范式

快速脱离假说的主要实验范式为空间线索提示范式(或结合 go/no-go 任务)，该范式最早由 Folk 等人提出(Folk et al., 1992)，目的是为了支持注意选择完全是自上而下控制的。在范式中，呈现靶子之前会呈现线索，两者之间的时间间隔大概为 150 ms。实验中要求被试搜索颜色定义的靶子(如红色或蓝色)，线索对靶子没有预测作用(如红色、绿色或蓝色)，例如，要求被试对红色靶子做反应，对蓝色靶子不做反应。快速脱离假说认为，在呈现线索时，无论线索是什么颜色，其作为当前屏幕上最突显的刺激都会自动捕获注意，而线索呈现之后靶子呈现之前的这段时间中，注意从不同线索上脱离的速度不同。注意从与靶子颜色相同的线索位置脱离的速度最慢，导致较大的线索提示效应，而从非靶子颜色的线索位置脱离的速度较快，导致线索提示效应消失，最重要的是从 no-go 靶子颜色的线索位置脱离的速度最快，导致对该位置产生抑制，而产生负的线索提示效应。这个范式对快速脱离假说的两个关键内容都很敏感，即捕获和脱离，其最大的特点就是捕获注意的突显刺激与靶子是不同步的。

快速脱离假说的另一个主要的实验范式是眼动脱离范式。实验中，被试先看到一个中央注视点和几个外周占位符，随机一段时间之后，中央注视点和外周占位符同时改变颜色，并在某个外周位置呈现靶子，告知被试中央注视点改变颜色提示被试开始进行搜索。实验中重要的操作是操纵中央注视点颜色和靶子颜色的相似性来考察注意从中央脱离的速度，脱离时间可以被定义为外周刺激呈现的时间和被试脱离中央注视点之间的时间间隔。结果发现，中央注视点为新异的颜色独子时，注意从该位置脱离会产生延迟，并且和靶子颜色越相似的中央注视点会导致更多的脱离延迟。在这个范式中，虽然干扰物和靶子同时呈现，但是他们并不呈现在同一视野中。

信号抑制假说主要的实验范式是额外单例范式的变式(或结合探针捕获任务)。实验中，外周虚拟的圆形视野中呈现不同形状的刺激，要求被试搜索特定形状并对其中的靶子做判断，同时在其他位置会呈现一个

任务无关的颜色独子，结果发现被试可以抑制颜色独子捕获注意。在这个范式中，干扰物和靶子同时呈现在同一视野，故这一范式不适合研究快速脱离假说，之所以可以抑制独子而促进对靶子的加工来自于两者之间存在“竞争”。

4.2 搜索策略

快速脱离假说是以“刺激-驱动”理论为前提的，支持刺激驱动理论的研究中，大多采用的是促使被试采用独子探测策略的额外单例范式，且在突显干扰物和靶子的特征试次间随机，也就是说当前试次中突显干扰物的某些特征可能是上个试次中靶子的特征。空间线索提示范式中，靶子呈现时其与同时呈现的其他刺激在某个特征维度上不同(例如：靶子为红色或绿色，其他非靶子刺激均为白色)，故在靶子为特征独子时，被试会采取独子探测策略，因此在线索呈现时，其作为当前呈现的独子，会自动捕获注意。而支持信号抑制假说的研究中，将经典的额外单例范式中搜索从某个维度上定义的靶子时(如多个菱形中的圆形)改为从不同形状的刺激中搜索菱形或圆形，迫使被试放弃独子探测策略而采取特征探测策略，且试次间特征固定，被试提前就知道之后试次中干扰物的特征。这种搜索策略的不同，也可能是造成结果是“抑制”还是“先捕获再脱离”的原因。除此之外，到底是产生抑制效应还是捕获-脱离效应也有可能和刺激类型、任务难度和工作记忆容量等因素有关，这些因素还需要更多研究来进行进一步验证(张明, 王爱君, 2012)。

尽管，快速脱离假说和信号抑制假说在实验范式和搜索策略等方面存在一些差别，但是两者均是将自下而上捕获和自上而下控制相结合的混合模型，均是通过消除或削弱干扰物加工来阻止注意捕获发生从而提高搜索效率的，其内在机制可能是统一的 (Cosman et al., 2018; Geng, 2014; Chelazzi et al., 2019)。快速脱离假说和信号抑制假说均涉及反应性抑制机制(reactive suppression mechanism, 即从无关刺激中分离)和主动抑制机制(proactive suppression mechanism, 抑制先前任务无关刺激所在的位置)(Geng, 2014)。在快速脱离假说的证据中，潜伏期很短的错误扫视会被迅速纠正回来，这是反应性抑制机制作用的结果，严格的自上而下控制甚至会导致先前线索化位置受到抑制，这表明注意脱离任务无关位置进行重新分配的过程中也有主动抑制机制的参与。在信号抑制假说中，大部分试次中被试可以在突显干扰物独子捕获注意之前将其抑制，这同样是主动抑制的结果(Aron, 2011)，当被试的认知负载不足以维持抑制过程总是发生在注意之前时，也需要反应性抑制机制进行补充。需要指出的是，两个假说的内在机制的统一性至今尚无研究直接检验，反应性抑制机制和主动抑制机制究竟是如何参与其中还需要研究者进一步探讨。

5 小结与展望

继刺激-驱动理论与目标-驱动理论之争后，视觉注意捕获研究中出现了两个将自下而上的捕获和自上而下的控制相结合的混合模型，即快速脱离假说和信号抑制假说。这两种假说自提出之后各自都有许多实证证据支撑，这也造成了两者争论不断的现状。本文从假说提出和各自相关的研究展开综述，试图为更好地验证快速脱离假说和信号抑制假说提供新思路，也为进一步补充注意捕获相关理论提供帮助。快速脱离假说主张突显刺激总能吸引注意，发生内隐或者外显的注意转移，注意捕获之所以没有真实发生是由于发现刺激与任务目标不符时注意有充足的时间从该位置脱离。信号抑制假说认为所有刺激都有捕获注意的潜力，都会产生“注意我”的信号，干扰物独子和靶子同时呈现时注意捕获没有真实发生是由于注意系统可以自上而下主动的抑制任务无关突显刺激。鉴于支持快速脱离假说的研究大多采用空间线索提示范式和眼动脱离范式，且被试大都可能使用独子探测策略，而支持信号抑制假说的研究大多采用额外单例范式的变式，且迫使被试采取特征探测策略，我们猜测，快速脱离假说和信号抑制假说之间可能并不是冲突的，两者都是注意捕获理论不可缺少的组成部分，且有着部分统一的机制。两者可以解释不同的注意捕获过程，这与当前实验中的范式和被试采取的策略有关。除此之外，还可能与实验中干扰物的类型、任务难度和工作记忆容量等因素有关。

围绕视觉注意捕获的快速脱离假说和信号抑制假说，未来研究可以从以下几个方面进行：

第一，探讨快速脱离假说和信号抑制假说相关的实验范式中不同的实验刺激类型对注意捕获的影响。目前，围绕快速脱离假说和信号抑制假说展开的研究主要采用的是不同颜色、不同形状的无意义刺激，然而在我们的生活中还有大量富含社会意义的刺激，如情绪刺激、语义刺激等。近期有研究者将复杂刺激与搜索任务相结合，试图考察其对注意捕获的影响。如 Glickman 和 Lamy(2017)将情绪面孔靶子混在中性面孔干扰物中发现，当情绪面孔靶子在某个维度是“独子刺激”时才能捕获注意。Biggs 等(2012)同时考察了情绪刺激和语义信息在注意捕获中的作用，结果发现增加对干扰物的语义知识会减少其捕获注意，同时也发现被试从消极刺激中脱离的速度比从积极刺激中脱离的速度慢。这些研究虽然都表明这些复杂的有意义刺激对注意捕获有影响，但均为行为研究且考察的指标单一，重要的是在快速脱离假说和信号抑制假说相关的研究中并未涉及。因此，未来需要更多研究采用快速脱离假说和信号抑制假说相关的实验范式，结合眼动追踪技术、脑电技术以及脑成像技术等方法来为不同类型实验刺激影响注意捕获提供汇聚性证据。

第二，考察奖赏历史对于快速脱离假说中“捕获-脱离”效应和信号抑制假说中“抑制”效应的影响。Awh 等人(2012)提出在整合优先性地图的过程中，除了自下而上和自上而下两方面因素之外，选择历史(selection history)也会带来一定的贡献，而选择历史非常重要的一个组成部分就是先前的奖赏历史对当前反应产生的影响。研究表明，奖赏信息能够驱动其关联刺激产生注意效应，且这种影响是区别于自下而上和自上而下两方面的(Wang et al., 2013; Gong et al., 2016)。考虑到快速脱离假说和信号抑制假说均为自下而上和自上而下

相结合的混合模型，因此未来可以将独立于自下而上和自上而下的奖赏历史与额外单例范式相结合，考察其对“捕获-脱离”效应和“抑制”效应的影响。

第三，考察快速脱离假说和信号抑制假说中涉及到的反应性抑制机制和主动抑制机制的神经基础。有研究采用经颅磁刺激(transcranial magnetic stimulation, TMS)技术和经颅直流电刺激(transcranial direct-current stimulation, tDCS)技术发现前额叶皮层(pre-frontal cortex)和后顶叶皮层(posterior parietal cortex, PPC)与主动抑制干扰物有关(Cosman et al., 2015; Lega et al., 2019; Tran, 2020)。鉴于快速脱离假说和信号抑制假说除了与主动抑制机制有关，还与反应性抑制机制关系密切(Geng, 2014)，因此，未来需要更多的神经影像学研究考察额顶联合区注意网络(fronto-parietal attention network)与反应性抑制机制的关系，这有助于探明反应性抑制和主动抑制在快速脱离假说和信号抑制假说中各自发挥的作用。

第四，系统地考察训练对于快速脱离假说中的“捕获-脱离”和信号抑制假说中的“抑制”的影响。无论是快速脱离假说中的“捕获-脱离”效应还是信号抑制假说中的“抑制”效应，本质上都是为了提高搜索效率，而提高搜索效率的一个有效方法就是训练。在快速脱离假说和信号抑制假说相关的研究中，每个被试通常只进行一次实验，且实验时长只有 1 小时左右，这不能体现出训练对于快速脱离假说和信号抑制假说相关的效应的影响。因此，未来还需要更多的研究通过增加实验时长、训练天数等方式来考察训练对于快速脱离假说中的“捕获-脱离”效应和信号抑制假说中的“抑制”效应的影响。

参考文献

储衡清，周晓林. (2004). 注意捕获与自上而下的加工过程. *心理科学进展*, 12(5), 680–687.

张明，王爱君. (2012). 视觉搜索中基于工作记忆内容的注意捕获与抑制. *心理科学进展, 20*(12), 1899–1907.

Anderson, B. A., & Folk, C. L. (2010). Variations in the magnitude of attentional capture: Testing a two-process model. *Attention Perception & Psychophysics, 72*(2), 342–352.

Anderson, B. A., & Folk, C. L. (2012). Dissociating location-specific inhibition and attention shifts: evidence against the disengagement account of contingent capture. *Attention Perception & Psychophysics*, *74*(6), 1183–1198.

Aron, A. R. (2011). From reactive to proactive and selective control: Developing a richer model for stopping inappropriate responses. *Biological Psychiatry*, *69*(12), e55–e68.

Awh, E., Belopolsky, A. V., & Theeuwes, J. (2012). Top-down versus bottom-up attentional control: A failed theoretical dichotomy. *Trends in Cognitive Sciences, 16*(8), 437–443.

Barras, C., & Kerzel, D. (2016). Active suppression of salient-but-irrelevant stimuli does not underlie resistance to visual interference. *Biological Psychology*, *121*, 74–83.

Belopolsky, A. V., Schreij, D., & Theeuwes, J. (2010). What is top-down about contingent capture? *Attention Perception & Psychophysics, 72*(2), 326–341.

Biggs, A. T., Kreager, R. D., Gibson, B. S., Villano, M., & Crowell, C. R. (2012). Semantic and affective salience: the role of meaning and preference in attentional capture and disengagement. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 38*(2), 531.

Blakely, D. P., Wright, T. J., Dehili, V. M., Boot, W. R., & Brockmole, J. R. (2012). Characterizing the time course and nature of attentional disengagement effects. *Vision Research, 56*, 38–48.

Boot, W. R. , & Brockmole, J. R. (2010). Irrelevant features at fixation modulate saccadic latency and direction in visual search. *Visual Cognition, 18*(4), 481-491.

Born, S., Kerzel, D., & Theeuwes, J. (2011). Evidence for a dissociation between the control of oculomotor capture and disengagement. *mental Brain Research, 208*(4), 621-631.

Brockmole, J. R., & Boot, W. R. (2009). Should I stay or should I go? Attentional disengagement from visually unique and unexpected items at fixation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 35*(3), 808–815.

Chen, P., & Mordkoff, J. T. (2007). Contingent capture at a very short soa: evidence against rapid disengagement. *Visual Cognition, 15*(6), 637–646.

Chelazzi, L., Marini, F., Pascucci, D., & Turatto, M. (2019). Getting rid of visual distractors: The why, when, how and where. *Current Opinion in Psychology*, *29*, 135–147.

Cosman, J. D., Atreya, P. V., & Woodman, G. F. (2015). Transient reduction of visual distraction following electrical stimulation of the prefrontal cortex. *Cognition*, *145*, 73–76.

Cosman, J. D., Lowe, K. A., Zinke, W., Woodman, G. F., & Schall, J. D. (2018). Prefrontal control of visual distraction. *Current Biology*, *28*(3), 414–420.

Eimer, M., & Kiss, M. (2008). Involuntary attentional capture is determined by task set: Evidence from event-related brain potentials. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *20*(8), 1423–1433.

Failing, M., & Theeuwes, J. (2019). More capture, more suppression: Distractor suppression due to statistical regularities is determined by the magnitude of attentional capture. *Psychonomic Bulletin & Review, 27*, 86–95.

Failing, M., Wang, B., & Theeuwes, J. (2019). Spatial suppression due to statistical regularities is driven by distractor suppression not by target activation. *Attention Perception & Psychophysics*, *81*, 1405–1414.

Folk, C. L., Leber, A. B., & Egeth, H. E. (2002). Made you blink! Contingent attentional capture produces a spatial blink. *Perception & Psychophysics, 64*(5), 741–753.

Folk, C. L., Remington, R. W., & Johnston, J. C. (1992). Involuntary covert orienting is contingent on attentional control settings. *Journal*

of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, *18*(4), 1030–1044.

Folk, C. L., & Remington, R. (1998). Selectivity in distraction by irrelevant featural singletons: Evidence for two forms of attentional capture. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 24*(3), 847–858.

Folk, C. L., & Remington, R. (2006). Top-down modulation of preattentive processing: Testing the recovery account of contingent capture. *Visual Cognition, 14*(4–8), 445–465.

Folk, C. L., & Remington, R. (2010). A critical evaluation of the disengagement hypothesis. *Acta Psychologica*, *135*(2), 103–105.

Folk, C. L., Remington, R. W., & Wright, J. H. (1994). The structure of attentional control: contingent attentional capture by apparent motion, abrupt onset, and color. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 20*(2), 317–329.

Fortier-Gauthier,U., Dell'Acqua, R., & Jolicœur, P. (2013). The "red-alert" effect in visual search: evidence from human electrophysiology. *Psychophysiology*, *50*(7), 671–679.

Gao, Y., & Theeuwes, J. (2019). Learning to suppress a distractor is not affected by working memory load. *Psychonomic Bulletin & Review, 27*(8), 96–104.

Gaspar, J. M., Christie, G. J., Prime, D. J., Jolicur, P., & Mcdonald, J. J. (2016). Inability to suppress salient distractors predicts low visual working memory capacity. *Proceedings of the National Academy of sciences, 113*(13), 3693–3698.

Gaspar, J. M., & McDonald, J. J. (2014). Suppression of Salient Objects Prevents Distraction in Visual Search. *Journal of Neuroscience, 34*(16), 5658–5666.

Gaspelin, N., Leonard, C. J., & Luck, S. J. (2015). Direct Evidence for Active Suppression of Salient-but-Irrelevant Sensory Inputs. *Psychological science, 26*(11), 1740–1750.

Gaspelin, N., Leonard, C. J., & Luck, S. J. (2017). Suppression of overt attentional capture by salient-but-irrelevant color singletons. *Attention Perception & Psychophysics, 79*(1), 45–62.

Gaspelin, N., & Luck, S. J. (2018a). Combined electrophysiological and behavioral evidence for the suppression of salient distractors. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *30*(9), 1–16.

Gaspelin, N., & Luck, S. J. (2018b). Distinguishing among potential mechanisms of singleton suppression. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance, 44*(4), 626–644.

Gaspelin, N., & Luck, S. J. (2018c). The Role of Inhibition in Avoiding Distraction by Salient Stimuli. *Trends Cognitive Sciences, 22*(1), 79–92.

Gaspelin, N., & Luck, S. J. (2018d). Supplemental Material for Distinguishing Among Potential Mechanisms of Singleton Suppression. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 44*(4), 626–644.

Gaspelin, N., Gaspar, J. M., & Luck, S. J. (2019). Oculomotor inhibition of salient distractors: Voluntary inhibition cannot override selection history. *Visual Cognition*, *27*(3–4), 227–246.

Geng, J. J., & Diquattro, N. E. (2010). Attentional capture by a perceptually salient non-target facilitates target processing through inhibition and rapid rejection. *Journal of Vision*, *10*(6):5, 1-12.

Geng, J. J. (2014). Attentional mechanisms of distractor suppression. *Current Directions in Psychological Science*, *23*(2), 147–153.

Glickman, M. & Lamy, D. (2017). Attentional capture by irrelevant emotional distractor faces is contingent on implicit attentional settings. *Cognition & Emotion*, *32*, 303–314.

Gong, M., Jia, K., & Li, S. (2017). Perceptual Competition Promotes Suppression of Reward Salience in Behavioral Selection and Neural Representation. *Journal of Neuroscience, 37*(26), 6242–6252.

Gong, M., Yang, F., & Li, S. (2016). Reward association facilitates distractor suppression in human visual search. *The European Journal of Neuroscience*. *43*(7), 942–953.

Hickey, C., Di Lollo, V., & McDonald, J. J. (2009). Electrophysiological Indices of Target and Distractor Processing in Visual Search. *Journal of Cognitive Neuroscience, 21*(4), 760–775.

Hickey, C., van Zoest, W., & Theeuwes, J. (2010). The time course of exogenous and endogenous control of covert attention. *Experimental Brain Research, 201*(4), 789–796.

Hu, L., Ding, Y., & Qu, Z. (2019). Perceptual learning induces active suppression of physically nonsalient shapes. *Psychophysiology*,

56(9), e13393.

Ipata, A. E., Gee, A. L., Gottlieb, J., Bisley, J. W., & Goldberg, M. E. (2006). Lip responses to a popout stimulus are reduced if it is overtly ignored. *Nature Neuroscience, 9*(8), 1071–1076.

Jannati, A., Gaspar, J. M., & McDonald, J. J. (2013). Tracking Target and Distractor Processing in Fixed-Feature Visual Search: Evidence From Human Electrophysiology. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 39*(6), 1713–1730.

Lega, C., Ferrante, O., Marini, F., Santandrea, E., Cattaneo, L., & Chelazzi, L. (2019). Probing the neural mechanisms for distractor filtering and their history-contingent modulation by means of TMS. *Journal of Neuroscience*, *39*, 7591–7603.

Livingstone, A. C., Christie, G. J., Wright, R. D., & McDonald, J. J. (2017). Signal Enhancement, Not Active Suppression, Follows the Contingent Capture of Visual Attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 43*(2), 219–224.

Marini, F., Demeter, E., Roberts, K. C., Chelazzi, L., & Woldorff, M. G. (2016). Orchestrating proactive and reactive Mechanisms for filtering distracting information: brain-behavior relationships revealed by a mixed-design fMRI study. *Journal of Neuroscience*, *36*(3), 988–1000.

Moher, J., & Egeth, H. E. (2012). The ignoring paradox: Cueing distractor features leads first to selection, then to inhibition of to-be-ignored items. *Attention Perception & Psychophysics, 74*(8), 1590–1605.

Moher, J., Lakshmanan, B. M., Egeth, H. E., & Ewen, J. B. (2014). Inhibition Drives Early Feature-Based Attention. *Psychological Science, 25*(2), 315–324.

Roque, N. A., Wright, T. J., & Boot, W. R. (2016). Do different attention capture paradigms measure different types of capture? *Attention Perception & Psychophysics, 78*(7), 2014–2030.

Sawaki, R., Geng, J. J., & Luck, S. J. (2012). A common neural mechanism for preventing and terminating the allocation of attention. *Journal of Neuroscience, 32*(31), 10725–10736.

Sawaki, R., & Luck, S. J. (2010). Capture versus suppression of attention by salient singletons: Electrophysiological evidence for an automatic attend-to-me signal. *Attention Perception & Psychophysics, 72*(6), 1455–1470.

Sawaki, R., & Luck, S. J. (2011). Active suppression of distractors that match the contents of visual working memory. *Visual Cognition, 19*(7), 956–972.

Schoeberl, T., Goller, F., & Ansorge, U. (2018). Top-down matching singleton cues have no edge over top-down matching nonsingletons in spatial cueing. *Psychonomic Bulletin & Review, 26*, 241–249.

Sun, M., Wang, E., Huang, J., Zhao, C., Guo, J., Li, D., . . . Song, Y. (2018). Attentional selection and suppression in children and adults. *Developmental Science*, *21*(6), e12684.

Theeuwes, J. (1992). Perceptual selectivity for color and form. *Perception & Psychophysics*, *51*(6), 599–606.

Theeuwes, J. (2004). Top-down search strategies cannot override attentional capture. *Psychonomic Bulletin & Review, 11*(1), 65-70.

Theeuwes, J. (2010). Top-down and bottom-up control of visual selection. *Acta psychologica, 135*(2), 77–99.

Theeuwes, J., De Vries, G. J., & Godijn, R. (2003). Attentional and oculomotor capture with static singletons. *Perception & Psychophysics, 65*(5), 735–746.

Tran, D. M. D. (2020). Commentary: probing the neural mechanisms for distractor filtering and their history-contingent modulation by means of TMS. *Frontiers in Neuroscience*, *14*, 365.

Van Zoest, W., Donk, M., & Theeuwes, J. (2004). The role of stimulus-driven and goal-driven control in saccadic visual selection. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 30*(4), 746-759.

Vatterott, D. B., & Vecera, S. P. (2012). Experience-dependent attentional tuning of distractor rejection. *Psychonomic Bulletin & Review, 19*(5), 871–878.

Wang, B., Samara, I., & Theeuwes, J. (2019). Statistical regularities bias overt attention. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *81*, 1813-1821.

Wang, B., & Theeuwes, J. (2018). How to inhibit a distractor location? Statistical learning versus active, top-down suppression. *Attention,*

Perception, & Psychophysics, 80, 860–870.

Wang, L., Yu, H., & Zhou, X. (2013). Interaction between value and perceptual salience in value-driven attentional capture. *Journal of Vision, 13*(3):5, 1–13.

Wright, T. J., Boot, W. R., & Brockmole, J. R. (2015). Functional fixedness: The functional significance of delayed disengagement based on attention set. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 41*(1), 17–21.

Wright, T. J., Boot, W. R., & Jones, J. L. (2015). Exploring the breadth of the top-down representations that control attentional disengagement. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 68*(5), 993–1006.

Yantis, S. (1993). Stimulus-driven attentional capture and attentional control settings. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 19*(3), 676–681.

Yantis, S., & Hillstrom, A. P. (1994). Stimulus-driven attentional capture: evidence from equiluminant visual objects. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 20*(1), 95–107.

Rapid disengagement hypothesis and signal suppression hypothesis of visual attentional capture

ZHANG Fan[1]; CHEN Airui[2]; DONG Bo[2]; WANG Aijun[1]; ZHANG Ming[1]

([1]*Department of Psychology, Soochow University, Research Center for Psychology and Behavioral Sciences, Suzhou, 215123, China*) ([2]*Department of Psychology, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou, 215009, China*)

Abstract: In the traditional theory of visual attentional capture, the stimulus-driven theory and goal-driven theory were argued for nearly 20 years. Later, two new hybrid models were proposed, which combined bottom-up capture and top-down control settings, called the rapid disengagement hypothesis and the signal suppression hypothesis. The main content of the rapid disengagement hypothesis is that attention is captured by a salient distractor but is immediately disengaged when the distractor does not contain target's defining attribute. Signal suppression hypothesis posits that a salient distractor can automatically produce a bottom-up "attend-to-me" signal, but this signal can be suppressed via top-down control processes so that it does not actually capture attention. The empirical evidence of the rapid disengagement hypothesis indicated that the spatial-cuing paradigm and oculomotor disengagement paradigm were most often adopted, and participants took the singleton search strategy. The empirical evidence of the signal suppression hypothesis indicated that the additional singleton paradigm was most often adopted, and participants were forced to take the feature search strategy. In the future, more studies adopting different stimuli and experimental methods are needed to support those two hybrid models. The effects of reward and training on "attentional capture-disengagement" and "signal-suppression" should also be explored in future research.

Key words: visual attentional capture; rapid disengagement hypothesis; signal suppression hypothesis